

ЛАВРОВ Михаил Фрументьевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ
В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ**

05.21.05. – Дровесиноведение, технология и
оборудование деревопереработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Якутск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»

| | |
|-------------------------------|--|
| Научный руководитель: | доктор технических наук, профессор МЕСТНИКОВ Алексей Егорович ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» |
| Научный консультант: | кандидат технических наук, профессор ЛЕВИНСКИЙ Юрий Борисович ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет» |
| Официальные оппоненты: | доктор технических наук, профессор ИСАЕВ Сергей Петрович ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский государственный университет» кандидат технических наук, доцент ТАМБИ Александр Алексеевич ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова» |
| Ведущая организация: | ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет» |

Защита состоится «22» октября 2015 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.02 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет».

<http://www.usfeu.ru/nauka/disserattsiionnye-sovety.html>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Куцубина Нелли Валерьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Современное развитие деревообрабатывающей отрасли требует новых технических и технологических решений в сфере проектирования и производства конструкционных материалов на основе древесины. В связи с этим особое внимание должно быть обращено на качество пиломатериалов, на оценку физико-механических показателей и технических возможностей древесины как конструкционного материала и эффективность потребления лесосырьевых ресурсов в производстве.

Оценка качества древесины по результатам стандартных лабораторных испытаний образцов на сжатие, изгиб, скалывание осложняется значительными затратами времени на подготовку стандартных образцов, обязательным их механическим разрушением на специальном оборудовании, расчетами показателей по предельным нагрузкам и деформациям.

Актуальными становятся средства и методы оперативного получения данных о состоянии древесины, ее анатомическом строении и основных физико-механических показателях. Для этого могут быть применены современные приборы, работающие по принципу акустического или механического сканирования материала. Однако в настоящее время научные работы в этом направлении единичны и требуют технических решений и достоверных результатов исследований, которые позволили бы обеспечить рациональное использование древесины именно с учетом высокоточной и обширной диагностики строения, состояния и качества. Поэтому задача разработки методов и средств оперативного инструментального исследования анатомической структуры и плотности древесины является не только актуальной, но и перспективной.

Цель работы

Повышение эффективности оценки качества древесины на основе определения плотности и параметров ее макростроения методом ориентированного сверления.

Объектом исследования – древесина лиственницы даурской (*Larix dahurica* Laws.), произрастающей на территории Республики Саха (Якутия), представленная в виде технологических сортиментов круглых лесоматериалов, а также в заготовках, пиломатериалах и деревянных строительных конструкциях.

Предметами исследований являются анатомическая структура и физико-механические показатели древесины лиственницы даурской; процессы и параметры определения плотности древесины методом ориентированного сверления.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи теоретических и экспериментальных исследований**:

- изучить показатели макростроения, плотности и механических свойств древесины лиственницы даурской и взаимосвязи между ними;
- оценить зависимости между показателями механических свойств древесины, полученными по стандартной методике испытаний, и экспериментальными данными свойств древесины, полученными методом ориентированного сверления прибором «Resistograph-4453s» производства фирмы «Rinntech», Германия (далее по тексту «Резистограф»);
- разработать метод определения показателя плотности древесины лиственницы даурской, способом ориентированного сверления древесного материала;
- выявить соотношения между параметрами макростроения древесины, ее плотности и прочности на основе идентификации характеристик процесса внедрения сверла-индентора в материал;
- определить математическую модель распределения плотности древесины в радиальном и осевом направлениях ствола дерева на основе использования текущих показателей прибора и характеристики сопротивления материала прохождению сверла-индентора через его массив.

Научная новизна работы:

- получены детализированные данные распределения плотности по сечению и высоте ствола древесины лиственницы даурской, произрастающей в суровых климатических

условиях Якутии и представлена их графическая иллюстрация в системе *цилиндрических* координат;

- разработан алгоритм прогнозирования ряда физико-механических показателей и структуры древесины на основе определения плотности материала методом сверления;
- установлено, что прочностные характеристики древесины лиственницы предопределяются плотностью поздней древесины;
- установлено, что уравнения изменений средней базисной плотности и диаметра по высоте ствола адекватно описываются уравнением регрессии, представленной в виде полинома третьей степени.

Основные научные положения, выносимые на защиту

- результаты математического моделирования процессов структурообразования и свойств лиственницы даурской в зависимости от ее высоты и диаметра;
- зависимости прочности древесины от параметров макростроения, соотношения массы ранней и поздней древесины, а также от величины локальной плотности и ширины годичных колец;
- данные натурных обследований круглых сортиментов, элементов линий электропередач и деревянных домов с использованием разработанного метода ориентированного сверления.

Теоретические, методологические и информационные основы исследования

Исследования базируются на использовании высокоточной аппаратуры и специализированного компьютерного сопровождения процесса контроля величины сопротивления древесины, внедрению в нее сверла-индентора, включенного в состав прибора «Резистограф»; применении системного подхода и методики научных экспериментальных работ для выявления статистически достоверных зависимостей и соотношений параметров состояния, структуры и физико-механических свойств древесины.

Информационную базу исследования составляют:

- поисковые научно-исследовательские работы в области диагностики состояния древесных материалов, в том числе разработки фирмы «Риннтех» (Германия), по созданию и применению средств дефектоскопии дерева;
- нормативно-технические документации по оценке качества и техническим испытаниям древесины и древесных материалов;
- зарубежные и отечественные периодические издания, результаты научно-исследовательских работ автора.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором

Научные:

- определены на основе резистограмм показатели плотности древесины в границах годичных слоев и по всей зоне поперечного сечения ствола дерева;
- установлены уравнения связи между показаниями прибора, контролирующего сопротивление древесины сверлению, и ее физико-механическими показателями в зависимости от зоны выборки сортимента из ствола дерева;
- получено экспериментальное и практическое подтверждение эффективности и достоверности оценки фактического состояния древесины в конструкциях, эксплуатируемых на строительных и иных объектах (линиях опор ЛЭП, несущих конструкций мостов и т.п.).
- выявлены зависимости пределов прочности древесины от параметров макростроения, соотношения массы ранней и поздней древесины, а также от величины локальной плотности и ширины годичных слоев;
- разработан метод определения древесной массы сырьевого сортимента, представляющей собой технологический ресурс для изготовления различных видов продукции, на основе ее расчета по геометрическим параметрам сортиментной заготовки и интегрированной плотности древесины.

Практические:

- разработано и апробировано методическое руководство к определению плотности древесины методом ориентированного сверления прибором «Резистограф» на предприятии ООО «АЛМАС» в г. Якутске.

Реализация результатов исследования

Разработан и апробирован метод определения плотности и параметров макростроения древесины на примере лиственницы даурской, произрастающей в Центральной Якутии, а также проведена диагностика состояния и оценка механической надежности строительных элементов и несущих конструкций на объектах предприятия ООО «АЛМАС».

Результаты НИОКР используются в учебном процессе по дисциплинам «Физика древесины», «Древесиноведение и лесное товароведение» по специальности 250403 – Технология деревообработки, а также дисциплине «Конструкции из дерева и пластмасс» по специальности 270102 – «Промышленное и гражданское строительство» кафедры технологии деревообработки и деревянных конструкций Инженерно-технического института СВФУ им. М.К. Аммосова.

Апробация результатов работы

Основные результаты и теоретические положения диссертационной работы были доложены на следующих конференциях и симпозиумах: «Лаврентьевские чтения» (г. Якутск, 2001, 2005 гг.); «Актуальные проблемы строительного и жилищно-коммунального комплексов РС(Я)» (г. Якутск, 2004 г.); «Строение, свойства и качество древесины-2004» (г. Санкт-Петербург, 2004 г.); «Создание новых материалов для эксплуатации в экстремальных условиях» (г. Якутск, 2009 г.); «Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение» (г. Якутск, 2009, 2011 гг.); Международном симпозиуме по развитию холодных регионов (г. Якутск, 2010 г.); «Дендро 2012: перспективы применения древесно-кольцевой информации для целей охраны, воспроизводства и рационального использования древесной растительности» (г. Москва, 2012 г.); «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» (г. Екатеринбург, 2013, 2014 гг.).

НИР по теме диссертационного исследования проводились в рамках федеральной целевой программы «Интеграция» 2003 г., гранта ректора ЯГУ 2003 г., гранта ректора СВФУ 2011 г., программы развития СВФУ на 2010 – 2014 гг., а также хозяйственного НИР «Исследование состояний воздушных ЛЭП ВЛ-110 кВ» по заказу Централных электрических сетей АК «Якутскэнерго».

Публикации. По результатам проведенного исследования опубликовано 14 научных статей, в т.ч. 4 в журналах, рекомендованных ВАК.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и четырех приложений. Диссертация изложена на 201 странице машинописного текста, включая 109 рисунков, 15 таблиц и 171 библиографическую ссылку.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы его цели и задачи, показаны научная новизна, направления практической реализации и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведены сведения о характеристике района произрастания лиственницы, качественных показателях древесины и методах ее исследований.

Проанализированы научные исследования и достижения, показанные в работах Н.П. Анучина, Е.К. Ашкенази, Ю.Р. Бокшанина, Ю.Н. Буслаева, В.Е. Вихрова, В.Н. Волынского, А.Л. Леонтьева, В.Е. Москалевой, К.В. Панферова, О.И. Полубояринова, Е.А. Пугача, В.Г. Санаева, В.С. Соболева, Б.Н. Уголева, Э.Н. Фалалеева, И.Ф. Шурдука, А.Н. Чубинского, Brashaw Brian K., Vatalaro Robert J., Wacker James P., Ross Robert J. и др.

Лесной фонд Якутии характеризуется преобладанием спелых и перестойных деревьев и отличается малодоступностью лесных массивов и недостаточной развитостью инфраструктуры лесоперерабатывающей отрасли в регионе.

Существенное влияние на процесс формирования структуры древесины и ее физико-механические показатели оказывают климатические факторы. Этим обоснована необходи-

мость изучения качественных показателей древесины лиственницы, произрастающей в Якутии. Такие показатели, как плотность, содержание поздней древесины и ширина годичных колец, могут быть использованы в оценке технологических возможностей древесного сырья для различных видов строительных конструкций, материалов и изделий.

На основании проведенного анализа научных материалов, изучения зарубежного и отечественного опыта оценки качества и состояния древесины разных пород, а также обоснования целесообразности разработки и внедрения инструментальных методов контроля параметров, характеризующих технологические возможности древесины, определены наиболее перспективные направления исследований и показаны возможности эффективного применения современных устройств и приборов для диагностирования древесины и деревянных конструкций. В частности, становится возможным широкомасштабное обследование деревянных конструкций и сооружений с целью выявления характера и причин изменения состояния древесины.

Методом ориентированного сверления можно исследовать макроструктуру древесины и биосостояние ствола дерева, практически не нарушая его целостности, а также определять плотность и механические свойства древесины. Определение указанных характеристик лиственницы даурской представляется достаточно согласованным с научными принципами исследования древесины и описания ее свойств. Соотношения между параметрами макростроения древесины, ее плотности и прочности могут быть установлены на основе идентификации характеристик процесса внедрения сверла-индентора в древесину и величины ее сопротивления продвижению инструмента по образующемуся каналу. Поэтому разработка математической модели процесса сверления и создание специальных карт распределения плотности по сечению и высоте ствола дерева могут обеспечить достоверное и обоснованное прогнозирование технических показателей и качества самой древесины.

Во второй главе представлены материалы, оборудование и методы определения морфометрических показателей, проведена паспортизация экспериментальных сортиментов. Для исследования строения древесного ствола лиственницы даурской были отобраны модельные деревья в количестве 9 шт., а также один экспериментальный ствол с явно выраженными пороками строения (наклоном волокон, кривизной, сбегом и др.).

В настоящей работе использованы методы исследования физико-механических свойств стандартных образцов древесины, полученных из элементов опор ЛЭП «ВЛ-110 кВ» Центрального энергетического района Якутии пяти, пятнадцати и двадцати лет эксплуатации. Описаны методы обследования деревянных элементов конструкций малоэтажных деревянных домов.

В третьей главе приведены методы определения макростроения и плотности древесины лиственницы даурской, произрастающей в суровых климатических условиях Якутии, в их взаимосвязи со структурой и возрастом материала.

Решены задачи отбора материала, определены схемы проведения испытаний с использованием прибора «Резистограф» и разработана схема взятия проб из фрагментов дерева.

Исследование показателя сопротивления древесины сверлению производилось в следующей последовательности:

- построение графика изменения показателя сопротивления древесины сверлению в программном обеспечении «Desom» в виде резистограммы (рис. 1) и выделение основных зон контролируемого поля. Они разделены на следующие зоны: начальные (до контакта сверла-индентора с поверхностным слоем ствола); побочные (прохождения коры); рабочие (прохождения древесины); зона выхода инструмента (вне поля контроля);

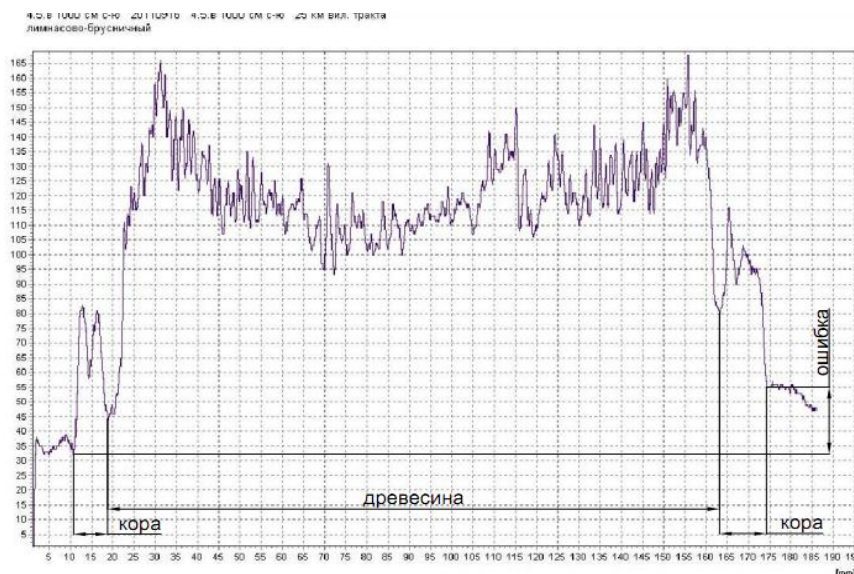


Рисунок 1 – Резистограмма в ПО «Desom» и основные зоны замеров

- определение ошибок, связанных с трением стержня сверла-индентора о поверхность канала образуемых при просверливании кряжей;
- приведение графических параметров резистограммы к требуемым значениям с учетом выявленных ошибок;
- расчет средних показателей Res_i на каждом участке по 1 см;
- анализ полученных данных, отображенных в графиках изменения плотности по сечению ствола.

При определении характеристик макростроения древесины по резистограммам установлено следующее:

- ширина одного годовичного слоя соответствует расстоянию между соседними нижними пиками резистограммы;
- величина поздней древесины соответствует расстоянию от минимального пика до ближайшего максимального, ранней – от максимального пика до ближайшего минимального.

Технико-аналитическая модель использованного в экспериментах метода приведена на рис. 2.

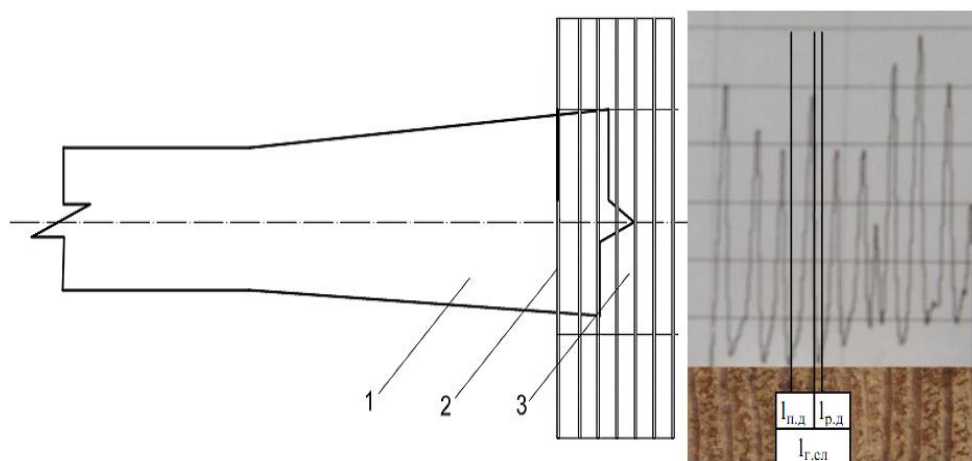


Рисунок 2 – Схема прохождения сверла-индентора через древесину (а) и диаграмма регистрации плотности (б): 1 – сверло; 2 – поздняя древесина; 3 – ранняя древесина

Оценка показателей макростроения древесины, полученных с помощью прибора «Резистограф», сопоставлена с результатами стандартизированных испытаний малых чистых образцов и считывания годовичных колец на срезах прибором Lintab-6 (далее «Линтаб-6»).

Установлено, что на точность регистрации параметров макроструктуры также оказывают форма сверла, содержание поздней древесины, скорость подачи сверла и частота вращения.

Результаты инструментального исследования макростроения древесины методом ориентированного сверления и стандартным способом показали, что метод сверления дает более высокие значения показателей содержания поздней мелкослойной древесины (42 – 58 %) по сравнению с данными, полученными с помощью прибора «Линтаб-6» (19 – 33%). Выполненные корректирующие исследования и расчеты базовых технических параметров инструмента позволяют исключить систематические ошибки в должной мере.

Так, при широких годовичных кольцах (3 – 9 шт) и содержании поздней древесины от 21%, определяемых прибором «Резистограф», значения показателей не отклоняются более, чем на 2% от показателей, полученных на «Линтаб-6». Для повышения точности определения исследуемых параметров макростроения тонкослойной и высокоплотной древесины лиственницы даурской, произрастающей в суровых климатических условиях, скорость подачи сверла должна быть уменьшена до 0,2 – 0,27 м/мин (рис. 3).

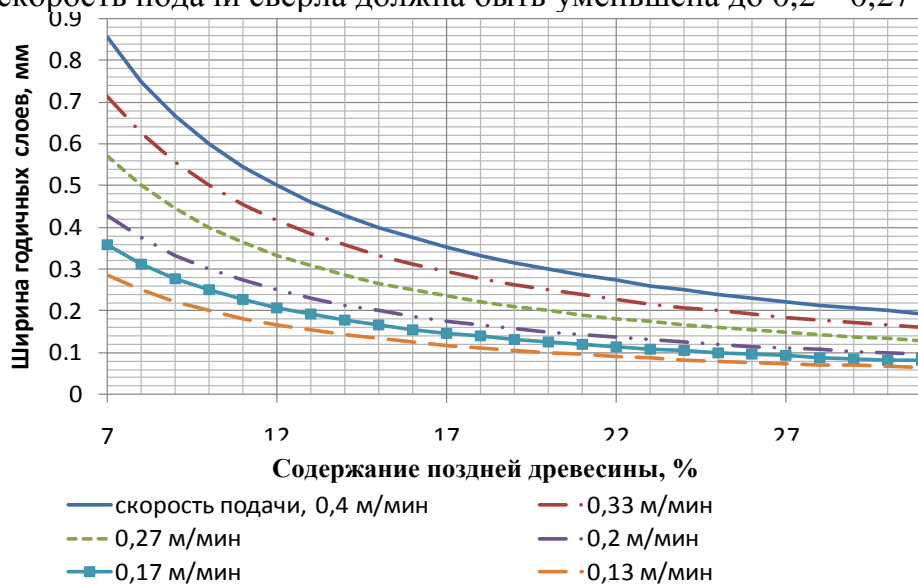


Рисунок 3 – Соотношение оценочных параметров макроструктуры древесины по сечению ствола с учетом скорости перемещения сверла-индентора по каналу

Выявлено, что ширина годовичных колец и ширина поздней их зоны имеют линейную связь, которая отображается простейшим уравнением с коэффициентом корреляции не ниже 0,8 (рис. 4).

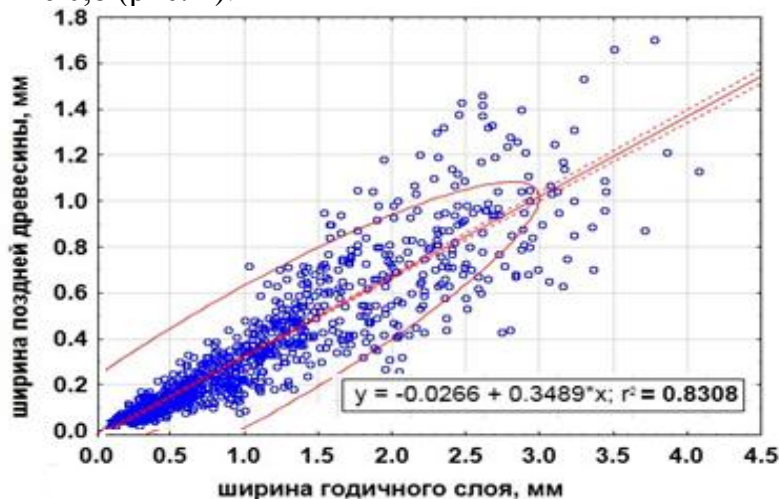


Рисунок 4 – Взаимосвязь ширины поздней древесины с шириной годовичного слоя

Анализ взаимосвязи ширины поздней древесины с шириной годовичного слоя показал, что корреляционная связь между двумя показателями зависит от размеров годовичных слоев. Поэтому и в дальнейшем можно утверждать, что для оценки тесноты корреляции следует использовать распределение древесины в зависимости от ширины годовичных слоев: мелкая – от 0,03 до 1,26 мм; средняя – от 1,27 до 2,54 мм; широкая – от 2,55 и более.

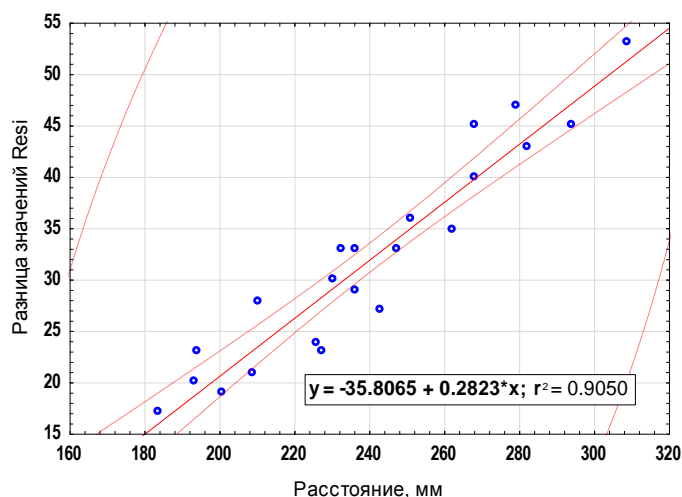


Рисунок 5 – Взаимосвязь разницы значений Resi от глубины просверливания

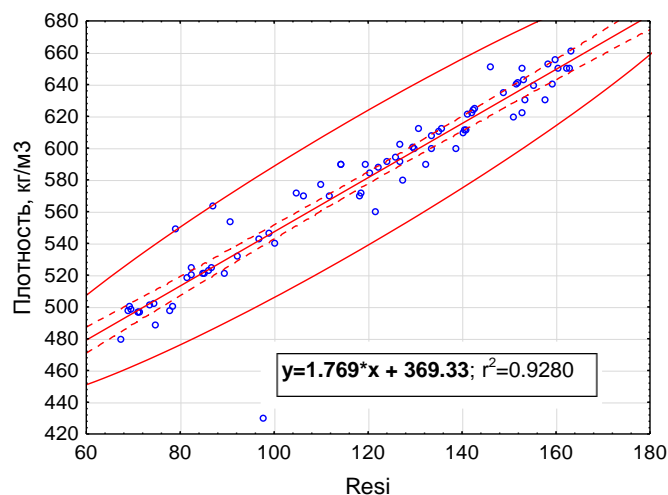


Рисунок 6 – Связь базисной плотности с приведенными значениями Resi

Погрешность вывода значений Resi возрастает по мере увеличения длины канала просверливания (рис. 5), но адекватно описывается линейным уравнением связи, а плотность соответствует показаниям прибора, согласно рис. 6.

Для устранения возникающей систематической ошибки измерений необходимо учитывать параметры входного и выходного сигналов, используя формулы (1) и (2).

$$\tilde{Y} = Y_{xi} - \delta x_i - \tilde{Y}, \quad (1)$$

где Y_{xi} – значения Resi в определяемой точке на резистограмме;

δ – ошибка значений на резистограмме, связанная с трением стержня сверла;

x_i – точка на координате резистограммы.

$$\delta = \frac{(y_{вых} - y_{вх})}{(x_{вых} - x_{вх})}, \quad (2)$$

где $x_{вх}$, $x_{вых}$ – входные и выходные точки положения сверла-индентора;

$y_{вх}$, $y_{вых}$ – входные и выходные величины показатели показателей сопротивления сверлению.

По результатам замеров методом ориентированного сверления разработан метод графического отображения распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева в программе MS Excel. Предложенные способы построения графиков распределения плотности позволяют оценивать распределение плотности в круглых сортаментах заготовок, а также служить теоретической основой создания специальных программных обеспечений для приборов, работающих по принципу ориентированного сверления.

В четвертой главе представлены результаты исследования качественных показателей древесины, полученные в лабораторных и полевых условиях. На основе изучения модельных деревьев составлено графическое описание формы образующей поверхности ствола древесины лиственницы и проведено их сравнение с аналогичными характеристиками лиственницы, произрастающей в других регионах. Установлено, что строение ствола древесины лиственницы даурской, произрастающей в Центральной Якутии, обладает меньшей полнотой, т.е. меньшим по объему годовым приростом.

Обобщенные и статистически обработанные данные экспериментальных исследований позволили составить уравнения распределения плотности по диаметру ствола. Эти математически формализованные выводы подтвердили, что распределение плотности по стволу дерева имеет общие характерные тенденции с эпюрами внутренних напряжений в древесине, полученными финским исследователем А. Юлиненем.

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что изменение средней плотности по высоте и форме ствола адекватно описывается уравнением с идентичными коэффициентами в виде полинома третьей степени (формулы (3) и (4)).

$$\rho_{ср i} = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D_{плотн}, \quad (3)$$

где $\rho_{срi}$ – средняя базисная плотность древесины на высоте x_i ;
 A, B, C – коэффициенты формы ствола;
 $D_{плотн}$ – постоянная плотности.

$$d_i = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D_{ств}, \quad (4)$$

где d_i – диаметр без учета коры на высоте x_i ;
 A, B, C – коэффициенты формы ствола;
 $D_{ств}$ – постоянная формы ствола.

Предложен способ определения средней базисной плотности дерева с использованием формулы (5):

- установление средней плотности древесины на определенной высоте;
- определение уравнения формы ствола в виде полинома третьей степени;
- вычисление постоянной плотности $D_{плотн}$, см.

$$D_{плотн} = \rho_{ср} - (Ax_i^3 + Bx_i^2 + Cx_i), \quad (5)$$

где $\rho_{ср}$ – средняя базисная плотность древесины на высоте x_i ;
 A, B, C – коэффициенты формы ствола;

- вычисления значений $\rho_{срi}$ в точках x_i подстановкой постоянного $D_{плотн}$ в формулу (3);
- определение среднего значения базисной плотности при помощи формулы (6)

$$\rho_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{срi}. \quad (6)$$

Преимущество данного способа определения средней плотности древесины заключается в его простоте и возможности установления древесной массы ствола дерева, что является актуальным как для производства конструкционных пиломатериалов, так и для других отраслей лесной промышленности.

На основании полученных данных распределения плотности по высоте ствола сделаны следующие заключения:

- сортировку круглых сортиментов для выработки конструкционных пиломатериалов следует производить на стадии лесозаготовки, руководствуясь элементарным определением формы ствола и средней плотности на высоте 1,3 м;
- выработка конструкционных пиломатериалов с наименьшими флуктуациями показателя плотности по длине и сечению должна производиться из центральной зоны круглых сортиментов с наименьшим сбегом по длине.

По многочисленным инструментальным исследованиям модельных деревьев составлены карты распределения плотности древесины – «денситограммы» (рис. 7), в которых нашли отражение все ее флуктуации.

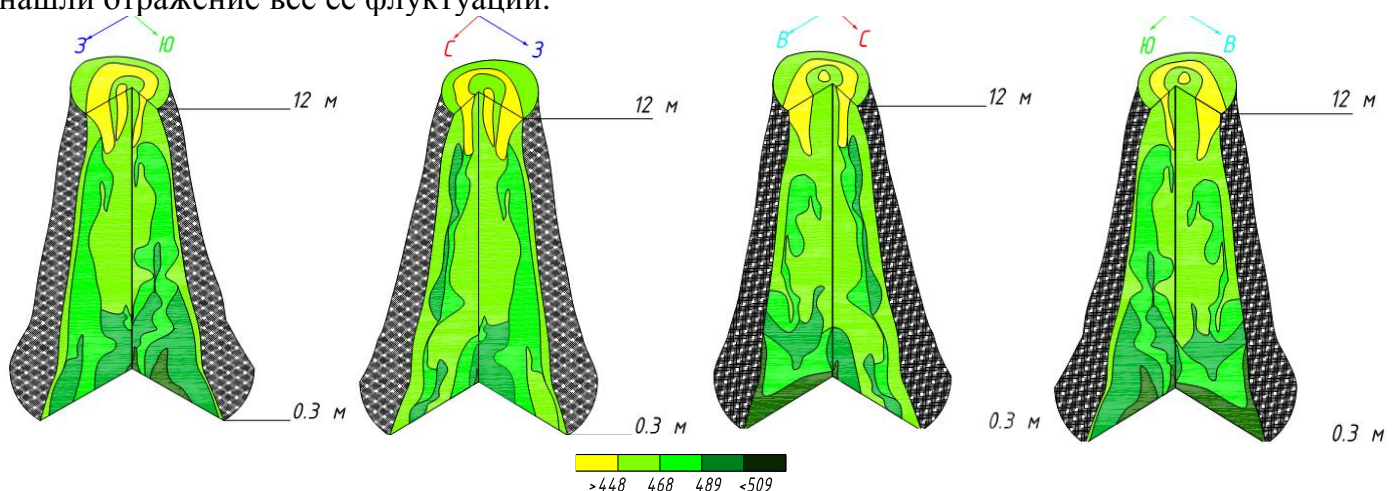


Рисунок 7 – Денситограмма ствола древесины лиственницы

На основе такого рисунка можно с высокой степенью точности квалифицировать не только качество древесины, но и назначать отбор технологических сортиментов с максимальными предпочтениями тех или иных ее характеристик.

Для создания идентификационной базы инструментальной диагностики древесины лиственницы даурской были проведены механические испытания на малых чистых образ-

цах и выполнен анализ по плану полного трехфакторного эксперимента. Исходные данные приняты по результатам исследований прочностных и других физико-механических показателей образцов свежесрубленной древесины лиственницы даурской южного района произрастания РС(Я), представленных Центральными электрическими сетями ОАО «Якутск-энерго» и полученных при обследовании опор ЛЭП и линий связи.

Исследованы три фактора в диапазонах варьирования: $0,833 \text{ мм} \leq x_1 \leq 2,5 \text{ мм}$ – ширина годичных слоев; $13\% \leq x_2 \leq 22\%$ – содержание поздней древесины в годичном слое и $437,5 \text{ кг/м}^3 \leq x_3 \leq 556,4 \text{ кг/м}^3$ – плотность.

В результате экспериментальных испытаний и установления уровня значимости влияния факторов получено уравнение:

$$\hat{y} = 70,43 - 3,53 \cdot x_1 - 2,22 \cdot x_2 + 4,44 x_3 - 1,1 x_1 x_2 + 1,73 x_1 x_3 - 1,95 x_2 x_3. \quad (7)$$

Анализ (рис. 8) показал, что прочность лиственницы на сжатие вдоль волокон повышается с увеличением плотности и уменьшением содержания процента поздней древесины в пределах единичного годичного слоя и его ширины от 1,67 до 2,5 мм.

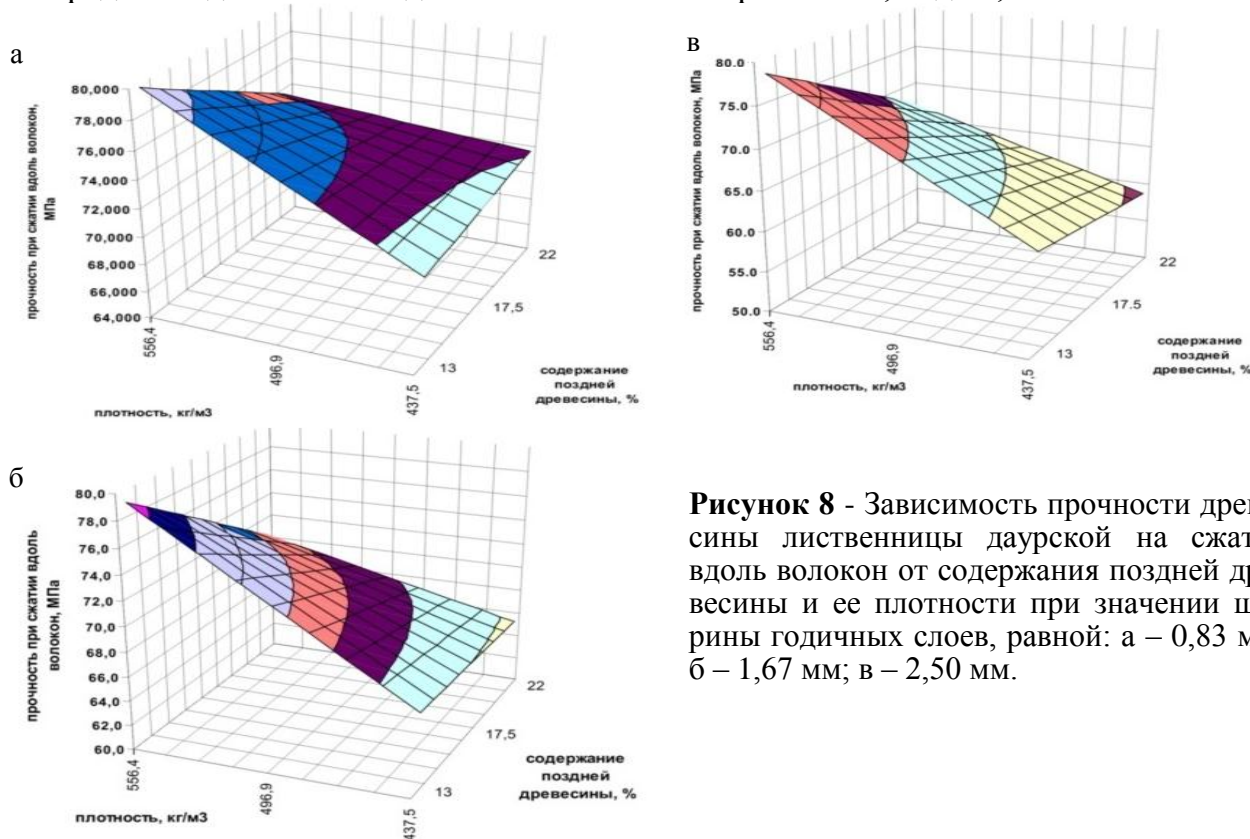


Рисунок 8 - Зависимость прочности древесины лиственницы даурской на сжатие вдоль волокон от содержания поздней древесины и ее плотности при значении ширины годичных слоев, равной: а – 0,83 мм; б – 1,67 мм; в – 2,50 мм.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что наибольшую прочность имеет древесина, которая обладает меньшим содержанием поздней древесины и обладает максимальной плотностью.

На основании полученных результатов автором предлагается применять показатель плотности поздней древесины, как показатель, наиболее точно характеризующий прочностные свойства. Плотность поздней древесины вычисляется по уравнению:

$$\rho_{n.d.} = \rho_{dp} - (100 - \delta_{n.d.}) \rho_{p.d.} / 100, \quad (8)$$

где ρ_{dp} – плотность древесины, кг/м³; $\delta_{n.d.}$ – содержание поздней древесины, %; $\rho_{p.d.}$ – плотность ранней древесины (для лиственницы 380 – 385 кг/м³).

Установлено, что характер изменения показателей прочности в большей степени зависит от плотности древесины. В связи с этим одним из главных отборных критериев качества древесины для строительных конструкций должна служить ее плотность.

Этот факт и уровень снижения показателя прочности установлены, при диагностировании состояния элементов конструкций предложенным методом ориентированного сверления (табл. 1). Определено, что результаты испытаний образцов древесины при помощи прибора «Резистограф» имеют устойчивую и достоверную взаимосвязь с

прочностными показателями на сжатие вдоль волокон и при уровне корреляции $R^2 = 0,57 - 0,78$ описывается следующим уравнением связи:

$$y = 5,52 * x^{0,504}. \quad (9)$$

Таблица 1 – Изменение показателей плотности в зависимости от срока эксплуатации

| Тип деревянной конструкции | Срок эксплуатации, лет | W, % | Базисная плотность | | Resi _{ср} | Расчетная плотность кг/м ³ | Δ, % |
|--|------------------------|------|----------------------|------|--------------------|---------------------------------------|-------|
| | | | M, кг/м ³ | V, % | | | |
| Древесина лиственницы (контрольная), 2011 г. заготовки | 0 | >30 | 465 | 12 | 65 | 484 | 4,1 |
| | | | 520 | 8 | 78 | 508 | -2,3 |
| | | | 570 | 10 | 121 | 584 | 2,5 |
| | | | 610 | 15 | 146 | 628 | 3,0 |
| Древесина лиственницы | 5 | >30 | 520 | 14 | 56 | 468 | -10,0 |
| | | | 570 | 12 | 82 | 514 | -9,8 |
| | | | 620 | 16 | 101 | 548 | -11,6 |
| Древесина лиственницы | 15 | >30 | 480 | 15 | 50 | 458 | -4,6 |
| | | | 520 | 10 | 92 | 532 | 2,3 |
| | | | 580 | 12 | 108 | 560 | -3,4 |
| Древесина лиственницы | 20 | >30 | 480 | 15 | 58 | 472 | -1,7 |
| | | | 520 | 16 | 78 | 508 | -2,3 |
| | | | 580 | 12 | 94 | 536 | -7,6 |

При обследовании деревянных конструкций на строительных объектах метод определения плотности древесины по резистограммам (методом ориентированного сверления) позволяет выявить скрытые зоны биопоражения древесины и оценить ожидаемые отрицательные эффекты, а также более точно квалифицировать уменьшение конструкционной надежности объектов.

В работе даны описательные характеристики состояния и фотофрагменты элементов конструкций, а также определены значения плотности древесины с помощью прибора «Резистограф».

Результаты определения базисной плотности экспериментальным и расчетными способами приведены в табл. 2

Таблица 2 – Результаты экспериментальных и расчетных данных базисной плотности и прочности на сжатие вдоль волокон

| Состояние | W, % | Resi _{ср} | Базисная плотность | | Расчетная плотность | | Δ, % | σ ₁₂ | | σ _{расч} , МПа | Δ, % |
|--|------|--------------------|-------------------------------------|------|-------------------------------------|------|-------|-----------------------|------|-------------------------|-------|
| | | | M _{ср} , кг/м ³ | V, % | M _{ср} , кг/м ³ | V, % | | M _{ср} , МПа | V, % | | |
| Древесина лиственницы (контрольная). 2011 г. заготовки. | 7 | 167 | 542 | 28 | 665 | 14 | 13,3 | 74,5 | 14 | 72,8 | -2,2 |
| | >30 | 101 | 562 | 36 | 548 | 26 | -2,5 | 29,1 | 26 | 56,5 | 94,2 |
| Древесина, ограждающие конструкции, 36 лет эксплуатации. | 14 | 117 | 562 | 28 | 576 | 18 | -7,1 | 62,8 | 18 | 60,2 | -3,6 |
| | >30 | 63,7 | 554 | 42 | 482 | 12 | -13,0 | 22,7 | 12 | 44,8 | 56,6 |
| Древесина, несущие балки, 36 лет эксплуатации | 11 | 75,0 | 526 | 26 | 502 | 22 | -4,6 | 58,4 | 22 | 48,6 | -16,7 |
| | >30 | 55,8 | 547 | 32 | 468 | 18 | -11,5 | 21,4 | 18 | 41,9 | 59,3 |
| Деструктивная гниль | 19 | 5,5 | 145 | 12 | 379 | 16 | 161,4 | 4,6 | 16 | 13 | 182,5 |
| Коррозионная гниль | 18 | 15,6 | 176 | 14 | 397 | 18 | 125,6 | 4,8 | 18 | 22 | 359,8 |

Полученные данные позволили создать систему комплексного обследования деревянных зданий, основные положения которой применены в оценке состояния малоэтажных деревянных домов, эксплуатируемых в условиях Якутии.

Дефекты в элементах стен (трещины, прогибы, смятия) обусловлены, как правило, усушкой, усталостью, старением древесины, а также неравномерной осадкой конструкций. С помощью прибора «Резистограф» можно фиксировать это измененное состояние древесины с большей точностью, поскольку удастся обнаружить даже скрытые дефекты. Разра-

ботанная методика составления денситограммы ствола позволяет наглядно и с большей точностью определить дефекты деревянных конструкций.

Оценка экономической эффективности предложенного метода оценки качества древесины показала, что применение метода ориентированного сверления при оценке качества деревьев позволит повысить производительность исследований в 4 раза, снизить себестоимость обследования на 50%.

Приведены результаты апробации и практической реализации разработанного метода оценки качества древесного сырья методом сверления. Разработаны требования к испытательному оборудованию, методу проведения испытаний и анализу показателей и основным технико-экономическим показателям оценки качества древесины при внедрении данного метода, в частности, в производственный цикл лесозаготовительных работ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Выявлены зависимости показателей прочности и плотности древесины лиственницы даурской от анатомического состояния и макроструктуры древесины, базирующихся на результатах испытаний, полученных с помощью прибора «Резистограф» и стандартными методами.

2. Установлено, что точность определения исследуемых параметров макростроения тонкослойной высокоплотной древесины зависит от частоты оборотов и скорости подачи сверла. Оптимальная скорость подачи сверла при частоте оборотов сверла 6660 мин⁻¹ составила 0,2 – 0,27 м/мин.

3. Дана оценка корреляционной связи между шириной поздней древесины и шириной годичного слоя. Установлено, что для оценки тесноты корреляции предпочтительно использовать распределение древесины на три группы в зависимости от ширины годичных слоев: мелкие – от 0,03 до 1,26 мм; средние от 1,27 до 2,54 мм; широкие от 2,55 мм и более. Такой подход позволяет увеличить диапазон рассматриваемых параметров и более четко выявить особенности взаимосвязи показателей.

4. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что прочностные свойства древесины лиственницы предопределяются плотностью поздней древесины.

5. Установлено, что характер распределения плотности по стволу дерева имеет общие тенденции с внутренними эпюрами напряжений, полученными финским исследователем А. Юлинемом. Это объясняется тем, что распределение плотности по стволу дерева напрямую связано с внутренними напряжениями и воспринимается как элемент природного приспособления к внешним условиям.

6. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность определения плотности древесины в полевых условиях с применением метода ориентированного сверления.

7. Получены детализированные данные картины распределения плотности древесины по сечению и высоте ствола лиственницы даурской. Приведена графическая иллюстрация в системе цилиндрических координат.

8. Разработан алгоритм прогнозирования физико-механических показателей и структуры древесины на основе определения ее плотности методом сверления.

9. Подтверждены обоснованность выдвинутых гипотез, достоверность выводов, рекомендаций и экономическая целесообразность применения разработанного метода, данными производственной апробации результатов проведенных исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Изданиях, рекомендованных ВАК

1. Лавров, М.Ф. Распределение плотности по высоте и сечению ствола древесины лиственницы даурской / М.Ф. Лавров, Ю.Б. Левинский, Д.К. Чахов, И.А. Докторов, С.А. Семенова // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 8. – С. 41 – 42.
2. Лавров, М.Ф. Результаты обследования деревянных конструкций многоквартирных жилых зданий / М.Ф. Лавров, Р.В. Прокопьев, Ю.Б. Левинский // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – № 8. – С. 12 – 13.
3. Лавров, М.Ф. Определение качественных показателей древесины методом сверления / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов, И.А. Докторов // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2014. – № 5. – С. 196-201.
4. Лавров, М.Ф. Составление карт распределения плотности в поперечных и продольных сечениях ствола дерева / М.Ф. Лавров // Наука и образование. – 2015. – № 2(78). – С. 79 – 84.

Прочих изданиях

5. Чахов, Д.К. Исследование свойств древесины лиственницы, произрастающих в условиях Якутии / Д.К. Чахов, М.Ф. Лавров // Труды IV международного симпозиума. Строение, свойства и качество древесины-2004. – СПб., 2004. – С. 377 – 379.
6. Лавров, М.Ф. К вопросу о влиянии особенностей анатомического строения на физико-механические свойства древесины лиственницы / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов // Сб. статей – IX Лаврентьевские чтения. – Т. 1. – Якутск, 2005. – С. 174 – 180.
7. Чахов, Д.К. Исследование свойств древесины, применяемой в опорах ЛЭП ВЛ-110 Кв Центрального энергетического района Якутии / П.Г. Романов, А.А. Захаров, М.Ф. Лавров // Сб. статей. – Конференция Строительный эксперт. – 2005. – №22 (209).
8. Лавров, М.Ф. Анализ зависимости механических свойств древесины лиственницы от плотности и особенностей ее макростроения / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов, И.А. Козлов // Создание новых материалов для эксплуатации в экстремальных условиях: сб. тр. Международной конференции с элементами научной школы для молодежи – Якутск: ПаблИш групп, 2009. – С.78 – 80.
9. Лавров, М.Ф. Анализ зависимости механических свойств древесины лиственницы, от срока эксплуатации в различных элементах опор ЛЭП (ВЛ-110 кВ) / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов // Материалы IX Международного симпозиума по развитию холодных регионов. – Якутск, 2010. – С. 79.
10. Лавров, М.Ф. К вопросу разработки экспресс-методики оценки качества древесного сырья / М.Ф. Лавров, Д.К. Чахов, И.А. Докторов // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Якутск, 2011. – С. 205 – 208.
11. Охлопкова, А.Ю. Древесиноведческие аспекты исследования основных лесообразующих пород Якутии / А.Ю. Охлопкова, Д.К. Чахов, И.А. Докторов, М.Ф. Лавров // Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение: материалы II Всероссийской научно-практической конференции – Якутск, 2011. – С. 197 – 200.
12. Лавров, М.Ф. Определение акустических показателей древесины лиственницы / М.Ф. Лавров, С.А. Семенова // «ЭРЭЛ-2012»: Материалы Всероссийской конференции научной молодежи. – Т. 1. – Якутск, 2012. – С. 92 – 95.

13. Левинский, Ю.Б. Новый методологический подход к исследованию распределения плотности по сечению и высоте ствола в древесине (на примере древесины лиственницы даурской, произрастающей в Якутии) [Электронный ресурс]/ Ю.Б. Левинский, М.Ф. Лавров, С.А. Семенова // VIII Международный Евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.», 2013 г. URL:http://symposium.forest.ru/article/2013/2_tehnology/pdf/Levinskyi2.pdf (дата обращения: 19.02.2015).

14. Лавров, М.Ф. Определение плотности древесины и параметров макроструктуры методом сверления / М.Ф. Лавров, А.Е. Местников, Ю.Б. Левинский // IX Международный Евразийский симпозиум «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI в.» – Екатеринбург, 2013. – С. 77 – 82.

Подписано к печати 08.07.2015. Формат 60×84/16. Печать офсетная. Бумага мелованная. Гарнитура «Times New Roman» 14 пт. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 110 экз. Заказ № 201

Издательство Уральского государственного лесотехнического университета
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37.

